

体験型料理シミュレータ

Interactive Cooking Simulator

加藤史洋¹⁾, 三武裕玄²⁾, 長谷川晶一²⁾

Fumihiko KATO and Hironori MITAKE and Shoichi HASEGAWA

1) 電気通信大学 情報理工学研究所

(〒182-8585 東京都調布市調布ヶ丘 1-5-1, fumihiko.k@hi.mce.uec.ac.jp)

2) 東京工業大学 精密工学研究所

(〒226-8503 横浜市緑区長津田町 4259, mitake,hase@pi.titech.ac.jp)

Abstract : We propose “Interactive Cooking Simulator” which provides users with information about physical and chemical reaction state during cooking process. By undergoing cooking under a recognition aid environment while simulating the end results repeatedly, better understanding in cooking is hoped to be archived. To accomplish our goal, our system consist of ve major elements which are haptic user interface for ccooking operation,realtime dynamical simulation for calculating motion of food ingredients, heat transfer simulation of inner food ingredients, food appearance change simulation and display system that we can check the result of operation and simulation.

Key Words: *Thermal simulation; Visualization; Cooking Simulation; Real-Time Graphics;*

1. はじめに

おいしく調理した食事を摂ることは、我々の日常には欠かせない。しかし、家庭で作る調理には、いくつかの困難が潜んでいる。経験の浅い初心者にとって、調理操作が調理結果に及ぼす影響は分かりにくく、これが原因で失敗してしまうことは少なくない。火加減の難しい魚料理や卵料理、火の通り具合の異なる複数の食材を使った料理など、材料を入れるタイミングや手順、味付けや調理操作技術によって仕上がりに差が出てくる。また、食材内部の調理状態など見えない・気づけない調理状態もある。たとえば、厚みのあるステーキ肉を焼く場合、中心部分が生でも、火が通りすぎて硬くなくても良くない。柔らかく焼き上げることが必要になる。しかし、内部は見えないので、経験の少ない初心者には難しい。そこで、本研究では、調理操作が及ぼす影響が分かり、経験を積んだり・訓練をすることができるインタラクティブな調理体験シミュレータの提案を行う。

2. 先行研究と本研究の目的

2.1 先行研究

料理を VR で再現しようとする研究として、大田黒ら [6] は 2次元のアニメーションで表現した「香る料理ゲーム」での調理体験ゲームと香り提示装置による嗅覚提示手法の提案をしている。また、タイトー [1] の「クッキングママ」というゲームは、おまごのように料理の流れを体験するゲームである。森井ら [8] は、チャーハンなどの体積がある食材の挙動を液体のモデルを用いて表現する手法を提案している。しかし、加熱調理や調理に伴う食材の視覚変化は含まれていない。食品のレンダリングに関して、大和田ら [2] はいろいろな切り口で切った時の食品断面をレンダリングする手法について研究している。この提案が中身の詰まった食品の表現をする提案なのに対し、本提案では中身の詰まった食品の加熱調理における食品内外の変化をリアルタイムに表現するものである。また、櫻井ら [3] は、クレープを加熱調理した際に、クレープ表面に生じる焼け色や模様をつきかたを分析し、シミュレーションで再現する研究を行っている。実際のクレープのように、模様がつく様子を確認できる。

2.2 本研究の目的

本研究の目的は調理状態の可視化ができる加熱調理シミュレータを構築し、調理情報として提示することで、利用者がインタラクティブに調理操作と結果を体験したり、調理が食材に与える影響を知ったり、理解を深めたりできるシステムを構築することである。

3. 調理シミュレータに求められる機能

本システムに必要な要素を以下にまとめる。

1. 調理操作を入力し反力を返すインタフェース
2. 食材のリアルタイム動力学シミュレーション
3. 食材の温度変化を計算するための熱伝導シミュレーション
4. 加熱による食材の見ための変化を表現する変化シミュレーション
5. シミュレーション結果を確認できるディスプレイ

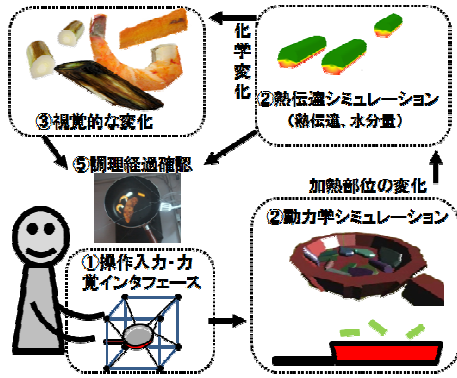


図1 調理シミュレータの要素

本研究では、焼き炒め調理を対象とし、上図1の要素を用いて現実の調理に近い調理体験ができるようなシステムを作る。以下、各要素に求められる機能についてまとめる。ステーキなどを焼く・炒める調理では、裏返す操作を頻繁に行うため、両手で操作できるインタフェースが必要である。また、反力や重さの提示も操作性向上に必要である。焼き炒め調理では、フライパンと食材間の熱伝達の大半を占める[4] 伝導伝熱計算と食材内の熱伝導計算が必要である。また、食材とフライパンとの接触を計算する動力学シミュレーションが必要となる。食材の色変化の表現のためには、調理学の知見が役立つが、必要に応じてパラメータを同定する実験が必要となる。調理具合を確認するためにはディスプレイ装置が必要となるが、調理器具への視線とディスプレイへの視線がずれていたたり、調理器具と物理的干渉をしたりすると、ユーザの負担が大きくなり操作がし難くなる[5]ので、解消する手段が必要になる。

4. システムの構成

4.1 インタフェース

本研究ではSPIDARを用いて、フライパンやフライ返しなどの操作間の干渉を少なくし、家庭の調理で広く用いられている直径26cmのフライパンとフライ返しをグリップとして使用できるようにすることが必要である。家庭調理用のフライパンは、自重による重みがあり、普通の調理と近い操作性があると考えられる。また、フライパンとフライ返しにはそれぞれ8個のモーター・エンコーダから出ている糸を取り付け、糸を通して位置姿勢の計測や力覚の提示を行う。

4.2 動力学シミュレータ

力覚インタフェースで反力が提示可能な動力学シミュレータには、長谷川ら[7]の開発しているSpringhead2を用いる。これは、動力学、接触判定、力覚提示反力計算などを3次元CGを使った物理モデルを用いて計算できる。OpenGLを組み込み、物理モデルと連動させた画像表示を行う。フライパンやフライ返しは現実の大きさよりも侵入に強い、分厚い物理モデルを用意する。

4.3 熱伝導シミュレータ

4.3.1 熱伝導の支配方程式

熱伝導の支配方程式は、エネルギー保存則と「フーリエの法則：単位時間に単位面積を移動する熱量は、その点における温度勾配に比例する」より、ある点における温度を T 、熱伝導係数を c とすれば、次のように導出できる。

$$c \frac{T}{t} = \frac{Q}{t} + \frac{\partial T}{\partial x} + \frac{\partial T}{\partial y} + \frac{\partial T}{\partial z} \quad (1)$$

4.3.2 熱伝導の支配方程式の離散化

導かれた熱伝導の支配方程式を基に、固体内の3次元熱伝導式の離散化をカラーキン法によって行う。温度固定、熱流速、熱伝達、熱輻射条件を各々 $S_{1,2,3,4}$ とし、 T :温度、 ρ :熱伝導率、 Q :内部発熱率(\dot{Q} は単位時間に単位体積当たり供給される熱量、発熱率)、 ρ :密度、 c :比熱、 t :時刻とする。熱伝導率は等方性のあるものとして計算を行う。以上より、熱伝導方程式の離散化式に境界条件を加味すると、次式になる。

$$[K]\{T\} + [C]\left\{-\frac{T}{t}\right\} = \{F\} \quad (2)$$

$$[K] = \int_v \left\{ \frac{[N]^T}{x} \frac{[N]}{x} + \frac{[N]^T}{y} \frac{[N]}{y} + \frac{[N]^T}{z} \frac{[N]}{z} \right\} dv + \int_{S_3} [N][N]^T dS + \int_{S_4} h[N][N]^T dS \quad (3)$$

$$[C] = \int_v c[N]^T [N] dv \quad (4)$$

$$\{F\} = \int_v \frac{Q}{t} dv + \int_{S_2} q_0 [N]^T dS + \int_{S_3} T_c [N]^T dS + \int_{S_4} h T_{OUT} [N]^T dS \quad (5)$$

ただし、 $[K]$ は熱伝導マトリクス、 $[C]$ は熱容量マトリクス、 $\{F\}$ は熱流速ベクトルである。

4.4 有限要素形状に合わせた離散化

四面体要素を用いた要素形状で計算可能な離散化を行い、要素メッシュ形状を考慮した温度 T の x, y, z 方向偏微分項を求めると、次のようになる。

$$\frac{T}{x} = \frac{N_1}{x} T_1 + \frac{N_2}{x} T_2 + \frac{N_3}{x} T_3 + \frac{N_4}{x} T_4 = \frac{a_1 T_1 + a_2 T_2 + a_3 T_3 + a_4 T_4}{6V} \quad (6)$$

$$\frac{T}{y} = \frac{b_1 T_1 + b_2 T_2 + b_3 T_3 + b_4 T_4}{6V} \quad (7)$$

$$\frac{T}{z} = \frac{c_1 T_1 + c_2 T_2 + c_3 T_3 + c_4 T_4}{6V} \quad (8)$$

ここで、 $a_i \sim c_i, T_i$ ($i = 1, 2, 3, 4$), V は定数なので、 $\frac{T}{x}, \frac{T}{y}, \frac{T}{z}$ は定数となる。以上より、 $\frac{[N]}{x}, \frac{[N]^T}{x}$ を計算することができる。これらを有限要素ごとに求めて積分し、全体剛性行列を作り熱伝導計算のシミュレータを構成する。なお、式 2 は、 n 時間後の節点温度のマトリクスを用いて、次の式のように変形する。

$$[K]\{T\} + [C]\left\{\frac{T}{t}\right\} = \{F\}$$

$$[K]\{T\} + [C]\frac{\{T\}_{n+1} - \{T\}_n}{h} = \{F\}$$

$$([K] + \frac{1}{h}[C])\{T\}_{n+1} = \{F\} + \frac{1}{h}[C]\{T\}_n \quad (9)$$

ただし、 h は微小時間とする。また、熱伝導する食材モデルは 3 次元 CG メッシュを用いる。

5. 視覚的な色変化シミュレーション

5.1 シミュレータで使用するモデルの生成

食材や調理器具は 3 次元 CG で作成した。フライパンの物理モデルは食材と高速で衝突すると沈み込んだりすり抜けたりしてしまうため、底の厚い物理モデルを用いる。物理モデル以外にグラフィックモデルでも表現し、現実の食材画像テクスチャを張り付け、食材の調理変化を表現可能にする。このテクスチャは OpenGL の 3 次元テクスチャ機能で切り替え・合成する。

5.2 テクスチャの取得

ネギ、ニンジン、海老、牛肉を加熱し、質量変化とテクスチャの関係や温度とテクスチャの関係 ((食材実験の例: 図 2 や図 3)) を取得し、調理シミュレータで再現する。エビや牛肉のステーキについては、タンパク質の変性による温度変化も加えた。

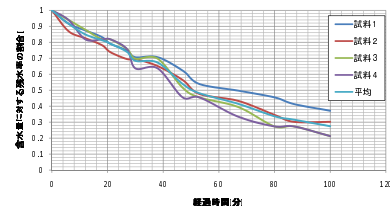


図 2 ネギを弱火で加熱した時の残水率の時間変化

経過時間 [分]	0	12	30	67	100
残水率	1	0.849192	0.683658	0.414339	0.274436
対応テクスチャ					

図 3 ネギの残水率に対応するテクスチャ画像

5.3 食材内部が見えるモデル

内部の焼け具合の確認が重要な牛ステーキについては、内部断面モデルを用いて内部の温度や焼け具合分布を参照可能にした。

6. ディスプレイ

6.1 MR 環境の構築

MR 表示が可能なディスプレイを図 4 のように、構成する。

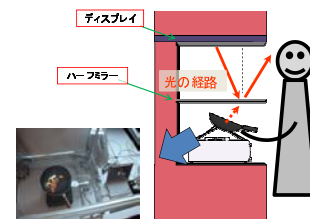


図 4 本提案で構成するインタフェースの構成図

7. システムの実装結果

下図 5 のように、両手で操作可能な調理シミュレータが構築できた。左手でフライパンを、右手でフライ返しを握ったり裏返したりすることができ、食材の重さをフライパン越しに感じる事ができた。図 6 のように、シミュレータで温度分布が確認できた。また、現実では全く見ることのできない内部断面の温度分布が確認できた。また、図 7



図5 フライ返してステーキ肉を1～4の順に裏返す様子。

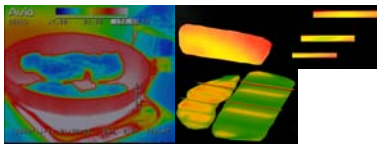


図6 左:現実の調理での・右:シミュレータでのサーモグラフィ表示。右上はステーキ内部断面の温度分布。右下:左から脂身が少なめ,多めのステーキの順に熱が伝わりやすい様子が分かる

では,熱伝導率の異なる牛ステーキ肉の焼ける速さの違いを確認することができた。テクスチャ合成の結果について,図

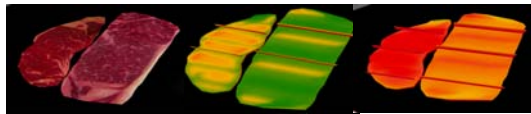


図7 左:脂の少ないステーキ(左)と脂の多いステーキ(右)では熱伝導率が異なり,中央:加熱開始直後。右:暫く時間が経った時。左側の脂身の少ないステーキの方が熱が伝わり易いことが分かる。(色が赤いほど温度が高く,緑色ほど低い。)

5には肉の様子が,図8には,エビ,ニンジン,ねぎの様子が分かる。

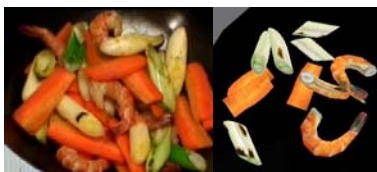


図8 左図:現実の調理でネギ,ニンジン,海老を炒めた様子。右図:シミュレータの表現

8. まとめと結論

本研究では,シミュレータで食材の焼け具合を確認することが可能となり,両手での操作ができる調理体験シミュレ

ータを構築できた。現実の調理では確認できない食材内部断面の様子を可視化して表現することもできた。また,シミュレータ体験者の感想には「とても面白い,操作が難しい,フライパンから溢れる」といったコメントがあり,何度も体験する者も見られた。以上より,両手調理操作が可能で,調理結果を表現可能なシステムは構築できたとと言える。

9. 今後の課題と展望

今後の課題として,食材の調理による時間変化が現実を再現できているか確かめ,評価する必要がある。また,現実の加熱調理のような調理食材の表現可能性は示せたが,牛肉やエビでは現実と同じような時間変化をするかは確認ができていない。今後は,真に調理操作と結果を体験して調理操作による食材の影響が理解できるシステムにすることを旨とする。

参考文献

- [1] OFFICE, CREATE, and published by TAITO Wii Licensed by NINTENDO. Cooking mamma:cook o - simulation game - wii - 01487. *RVL-P-RCCJ(JPN)*, 2006.
- [2] O. Shigeru, N. Frank, O. Makoto, and I. Takeo. Volumetric illustration: Designing 3d models with internal textures. *Proceedings of ACM SIGGRAPH*, pp. 322-328, 2004.
- [3] 櫻井, 白井, Goslin Fabien(ENSAM P & I, 宮田. クレープの表面形状のモデリング手法. エンタテインメントコンピューティング 2007 年次大会論文抄録集, 2007.
- [4] 渡辺, 三堀, 酒井. 炒め調理過程の伝熱モデル. 日本食品工学会誌, 6-4:269-278, 2005.
- [5] 加藤, 三武, 青木, 長谷川. 調理支援のためのインタラクティブ調理シミュレータ. エンタテインメントコンピューティング 2008 年次大会論文抄録集, 2008.
- [6] 大田黒, 木下, 中本, 長濱, 石田, 大西. インタラクティブ嗅覚ディスプレイと香る料理体験コンテンツへの応用. 電気学会研究会資料. CHS, ケミカルセンサ研究会, 2006(19):63-68, 20061218.
- [7] 長谷川晶一, 田崎勇一, 大内政義, 高津勝, 三武裕玄, 白井暁彦, 岡田直樹, 市川宙, 赤羽克人, 藤井伸晃, 田上信一郎, 三武裕玄, 時崎崇, 須佐育弥, 松永昇悟, 花岡優介, 他. Springhead2. <http://springhead.info/>.
- [8] 森井, 舟橋, 山本. VR調理学習システムのための格子・粒子法による固体群操作モデル. 日本バーチャルリアリティ学会 2009 年 大会論文抄録集, 2009.